

Aplicación de la tecnología de altas presiones hidrostáticas para la elaboración de hamburguesas de carne con bajo contenido de sales

Ferrari R.¹, Szerman N.^{2,3*}, Sanow C.², Sancho A.², Vaudagna S.^{1,2,3}

¹Departamento de Biotecnología y Tecnología Alimentaria – Facultad de Ingeniería y Ciencias Exactas – Universidad Argentina de la Empresa (UADE). Argentina

²Instituto Tecnología de Alimentos – CIA – Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Morón, Argentina.

³Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Argentina.

*nszerman@cnia.inta.gov.ar



Resumen

La tecnología de altas presiones hidrostáticas (APH) podría utilizarse para la elaboración de productos cárnicos con bajo contenido de sales, ya que presenta efectos similares sobre las proteínas miofibrilares. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la incorporación de aditivos (cloruro de sodio, NaCl 0-2%, y tripoli-fosfato de sodio, TPFS 0-0,5%) y del tratamiento con APH (presiones entre 100 y 300MPa, tiempos de mantenimiento entre 1 y 5min) sobre los parámetros tecnológicos y las propiedades fisicoquímicas y de textura de hamburguesas de carne bovina. Para ello, se aplicó un diseño de optimización Box-Behnken. Las hamburguesas se formularon con carne 80% (p/p), grasa 10% (p/p), agua 10% (p/p) y NaCl y TPFS en concentraciones establecidas por el diseño experimental. Luego, las hamburguesas fueron sometidas a los tratamientos con APH. Las hamburguesas tratadas con APH fueron analizadas en dos estados: crudas y cocidas en una parrilla de doble contacto (75°C en el centro de las mismas). Para las hamburguesas crudas, el pH aumentó con el incremen-

to de la concentración de TPFS y de la presión. En hamburguesas cocidas, este parámetro aumentó con el incremento de la concentración de TPFS y disminuyó con el aumento de la concentración de NaCl. La pérdida de peso por cocción disminuyó y la humedad expresable aumentó con el incremento de la concentración de los aditivos y con la reducción de la presión. En hamburguesas crudas, el incremento de la concentración de NaCl disminuyó los parámetros L^* , a^* y b^* ; el aumento de la concentración de TPFS incrementó el parámetro a^* y el aumento de la presión incrementó el parámetro L^* . En hamburguesas cocidas, los parámetros L^* , a^* y b^* no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos. En general, los parámetros de textura aumentaron con el incremento de la presión. La unión entre las partículas de carne picada se incrementó con el aumento de la presión, lo cual indica una modificación en la estructura de las proteínas.

Palabras clave: altas presiones hidrostáticas, hamburguesas, carne bovina, cloruro de sodio, tripoli-fosfato de sodio.

Introducción

Entre las tecnologías emergentes de procesamiento de alimentos desarrolladas en las dos últimas décadas, una de las que alcanzó mayor aplicación comercial fue la que utiliza altas presiones hidrostáticas (APH). Ésta consiste en aplicar a un alimento envasado una presión constante (en el rango 100-600MPa) durante un tiempo corto (<10min) a temperaturas ambiente o de refrigeración (condiciones que se aplican en equipos de escala industrial). Los tratamientos con APH permiten preservar la "frescura" de los alimentos y duplicar o triplicar la vida útil de los mismos respecto a los tratamientos convencionales (Wolti-Chanes *et al.*, 2005). Esta tecnología ha sido aplicada con éxito en el procesamiento de pro-

ductos cárnicos curados (cocidos o secos), paté, salchichas, medallones y carnes ready-to-eat (Hjelmqwist, 2005) con el objetivo principal de asegurar su inocuidad y reducir el deterioro microbiológico, extendiendo en forma significativa su vida útil. Además, las APH ocasionan una serie de cambios fisicoquímicos en las proteínas cárnicas, desde su solubilización hasta su agregación, dependiendo de las características del sistema y de las condiciones de procesamiento (Fernández-Martín *et al.*, 2002). El efecto del tratamiento con APH sobre las proteínas miofibrilares es similar al producido por sales como NaCl y TPFS, siendo posible reducir su concentración en la formulación de productos cárnicos (Trespalcios & Pla, 2007). Tanto el NaCl como el TPFS intervienen en la extracción y solubilización de las proteínas miofibrilares, las cuales gelifican por acción del calor, obteniéndose luego de la cocción un producto compacto y uniforme debido a la adhesión de las distintas piezas. Sin embargo, el NaCl se asocia a la hipertensión arterial (Chen y Trout, 1991; Ruusunen y Puolanne, 2005) y los polifosfatos alcalinos pueden incrementar el riesgo de enfermedades óseas (Shahidi y Synowiecki, 1997).

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la incorporación de aditivos (NaCl y TPFS) en distintas concentraciones y del tratamiento con APH (diferentes presiones y tiempos de mantenimiento) sobre los parámetros tecnológicos, las propiedades fisicoquímicas y de textura de hamburguesas de carne bovina.

Materiales y métodos

Materiales

La carne bovina (48h post-faena; pH 5,4-5,7) utilizada como materia prima para este estudio fue carnaza de paleta con marucha (Código 2307 Nomenclador Argentino de Carnes Vacunas), provenientes de carcasas de animales de razas británicas. Las piezas fueron desgrasadas y se les eliminó el tejido conectivo. La grasa se conservó para la formulación de las hamburguesas. La carne y la grasa fueron envasadas al vacío en bolsas Cryovac BB2800 (Sealed Air, Buenos Aires, Argentina) por separado y se mantuvieron refrigeradas ($1,0 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ - 24h). Las sales utilizadas en la formulación de las hamburguesas fueron cloruro de sodio (NaCl, Dos Anclas, Argentina) y tripolifosfato de sodio (TPFS, N15-16 Chemische Fabrik Budenheim R.A Oetker, Budenheim).

Diseño experimental

Para la realización de este estudio se aplicó un diseño de optimización Box-Behnken (Box y Behnken, 1960), siendo los factores del diseño las concentraciones de NaCl y TPFS, el nivel de presión y el tiempo de mantenimiento de la presión (Tabla 1). El estudio se organizó en tres bloques y cada bloque incluyó nueve tratamientos, por lo tanto, el total de tratamientos ensayados fue 27. Para determinar el efecto del bloque, el punto central del diseño fue repetido tres veces, uno en cada bloque.

Tabla 1 - Niveles de los factores utilizados en el diseño de optimización Box-Behnken para el estudio de efecto sobre los parámetros tecnológicos, las propiedades fisicoquímicas y de textura de hamburguesas de carne bovina

Factores	Nivel bajo (-1)	Nivel Medio (0)	Nivel Alto (1)
NaCl (%p/p)	0	1	2
TPFS (%p/p)	0	0,25	0,5
Presión (MPa)	100	200	300
Tiempo (min)	1	3	5
NaCl: concentración de cloruro de sodio TPFS: concentración de tripolifosfato de sodio			

Se denominó tratamiento a una determinada combinación de factores y cada tratamiento se aplicó a 18 hamburguesas. Se realizó un análisis de regresión lineal múltiple para estudiar el efecto de todos los factores sobre los parámetros tecnológicos, las propiedades fisicoquímicas y de textura de las hamburguesas de carne (pH muestras crudas y cocidas, pérdida de peso por cocción, humedad expresable en muestras cocidas, parámetros cromáticos en muestras crudas y cocidas, resistencia y trabajo de corte en muestras cocidas). El nivel de significación de los factores se determinó utilizando la prueba F ($p < 0,05$). Todos los análisis se realizaron utilizando el programa estadístico Minitab 15.0 (trial version).

Preparación de las hamburguesas

La carne y la grasa fueron picadas en forma separada, utilizando una picadora (Hobart, EE.UU.) con una placa de 4mm de diámetro. La temperatura durante el picado no superó los 8°C . La formulación de las hamburguesas fue la siguiente: carne magra 80%(p/p), grasa bovina 10%(p/p), agua 10%(p/p) y las concentraciones de sales establecidas por el diseño experimental (Tabla 1). La cantidad de carne incorporada a la formulación se modificó según las concentraciones de sales incorporadas. La grasa y la carne se mezclaron en las proporciones mencionadas y la mezcla resultante fue picada nuevamente. A continuación, se agregó el TPFS en las formulaciones según el diseño experimental (Tabla 1) y se procedió al mezclado manual. Finalmente, se disolvió el NaCl en el agua fría (en aquellas formulaciones que contenían esa sal) y la salmuera se incorporó a la masa. Después de 5 min de amasado manual, se formaron las hamburguesas con 140g de masa, utilizando una formadora manual (diámetro: 100mm, altura: 15mm) y se colocaron en freezer (-20°C) durante 24h. Luego, de cada hamburguesa se obtuvieron dos de menor tamaño (diámetro: 50mm, altura: 15mm), utilizando un sacabocado. Posteriormente, las hamburguesas se envasaron al vacío en bolsas Cryovac BB2800 (Sealed Air, Buenos Aires, Argentina) y se refrigeraron ($1,0 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ -24h).

Aplicación de los tratamientos de APH

Las hamburguesas refrigeradas ($1,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$) fueron sometidas a los distintos tratamientos con APH (presiones y tiempos de mantenimiento establecidos según el diseño experimental, tabla 1) en un equipo Stansted Fluid Power (cilindro de 2L presión máxima 900MPa, temperatura de trabajo: -20 a 120°C , modelo FPG9400:922, Stansted, Reino Unido). La velocidad de presurización aplicada fue de 300MPa/min. La temperatura del cilindro utilizada fue de 5°C . Luego del tratamiento con APH, las muestras se conservaron a -40°C hasta su posterior análisis o cocción.

Cocción de las muestras

Las hamburguesas se cocinaron en una parrilla eléctrica de doble contacto (George Foreman, EE.UU.) a 180°C , hasta alcanzar en el centro de la muestra 75°C (punto final). Durante la cocción, la temperatura en el centro de cada hamburguesa fue monitoreada con un termopar flexible tipo T recubierto con cerámica resistente a altas temperaturas y los datos fueron registrados con un multímetro digital marca Fluke modelo Hydra 2625A (John Fluke Mfg. Co. Inc., Everett, EEUU).

Análisis de las muestras

Medición del pH. El pH se midió en dos hamburguesas crudas (luego del tratamiento con APH) y en dos hamburguesas cocidas. Los homogenatos se prepararon mezclando (en bolsa para Stomacher) 5g de muestra procesada (Minipimer Braun MR 5550, Argentina) con 25mL de agua destilada con pH estandarizado a 7. Luego, la mezcla se homogeneizó 30s en Stomacher (Lab Blender 400, UK). La medición del pH se realizó con un pH-metro (Thermo Orion modelo 710A+, Beverly MA, EEUU) equipado con un electrodo de pH (Thermo Orion modelo 8102BN ROSS Electrode, Beverly MA, EEUU) y una sonda ATC (Thermo Orion, Beverly MA, EEUU).

Pérdida de peso por cocción. La pérdida de peso por cocción (PPC) se calculó con la siguiente relación: $\text{PPC} = (m_1 - m_2) * 100 / m_1$, donde m_1 es la masa de la hamburguesa antes de la cocción (luego del tratamiento con APH) y m_2 es la masa de la hamburguesa luego de la cocción.

Humedad expresable (HE). Se tomó una muestra ($1,5 \pm 0,2\text{g}$) de hamburguesa cocida y se la colocó en un tubo de centrifuga de 50mL, conteniendo un capirote formado por dos papeles de filtro marca Munktell (tamaño de retención de partícula $6\mu\text{m}$ y $3\mu\text{m}$). Las muestras fueron centrifugadas a 4800xg por 20min a 4°C , utilizando una centrifugadora Sorvall Modelo RC3C (Sorvall Instruments). La HE se calculó de acuerdo a la siguiente fórmula: $\text{HE} = (m_1 - m_2) * 100 / m_1$, donde m_1 y m_2 son las masas de las muestras antes y después de la centrifugación.

Resistencia al corte y trabajo de corte. Las hamburguesas cocidas y enfriadas a 25°C , fueron cortadas por la mitad, obteniéndose dos hamburguesas de 0,75cm altura. Luego de ser pesada, a cada mitad se le determinó la resistencia al corte y el trabajo de corte mediante una Celda de Kramer de diez cuchillas, utilizando un analizador de textura marca Stable Micro Systems modelo TA.XTplus (Surrey, Reino Unido), equipado con una celda de carga de 50kg. Las velocidades aplicadas durante el ensayo fueron: pre-ensayo 1mm/s, ensayo 1mm/s, post-ensayo 10mm/s. La medición se realizó en tres hamburguesas correspondientes a cada tratamiento aplicado. Los resultados fueron expresados como N/g (fuerza por gramo) y J/g (trabajo por gramo).

Parámetros cromáticos. Los parámetros cromáticos fueron medidos en tres hamburguesas crudas (luego del tratamiento con APH) y en tres hamburguesas cocidas, utilizando un colorímetro Minolta portátil (modelo CR400, iluminante D65, observador 2°). Las determinaciones (sistema CIE $L^*a^*b^*$) se realizaron, en cada hamburguesa, en cuatro puntos ubicados a 0,5cm del borde (90° entre sí) y en el centro. Estos valores fueron promediados para el análisis estadístico.

Resultados y discusión

Medición de pH

En la tabla 2 se presentan los coeficientes de regresión estimados, obtenidos por análisis de regresión múltiple, para el pH de las hamburguesas crudas (pH crudo) y cocidas (pH cocido). El modelo fue significativo para ambos parámetros ($p < 0,05$) y logró explicar el 99,2% y 98,4% de las respuestas observadas, respectivamente.

El parámetro pH crudo aumentó significativamente con el incremento de la concentración de TPFS y de la presión, siendo el efecto del primer factor el más importante (Tabla 2). Los fosfatos alcalinos causan un incremento moderado del pH de la carne, el que depende del tipo y concentración de fosfato (Sofos, 1989). Por otra parte, el efecto de la presión puede atribuirse a la reducción de protones libres como consecuencia del aumento de la ionización que se produce en las proteínas miofibrilares (McArdle et al., 2011). El parámetro pH cocido disminuyó con el incremento de la concentración de NaCl y aumentó con el incremento de la concentración de TPFS. El nivel de presión y el tiempo de mantenimiento no tuvieron efecto significativo sobre ese parámetro. La ausencia de efecto del nivel de presión sobre el pH cocido, a diferencia de lo observado sobre el pH crudo, se debería a que el efecto principal sobre el pH de las hamburguesas cocidas lo constituiría la desnaturalización de las proteínas miofibrilares por la cocción, minimizando el efecto del nivel de presión.

Tabla 2 - Coeficientes de regresión y análisis de varianza para los modelos de regresión correspondientes al pH de las hamburguesas crudas (pH crudo) y cocidas (pH cocidos), la pérdida de peso por cocción (PPC), la humedad expresable (HE), la resistencia al corte (RC) y el trabajo de corte (TC) de hamburguesas de carne bovina tratadas con APH y luego cocidas

Términos	pH crudo	pH cocido	PPC (%)	HE (%)	RC (N/g)	TC (J/g)
Constante	6,159	6,224	34,81	17,91	44,32	158,43
NaCl	-0,008	-0,036*	-12,66*	4,45*	-1,60	-5,00
TPFS	0,172*	0,133*	-7,13*	3,04*	-2,15*	-7,96*
Presión	0,060*	-0,004	5,74*	-3,48*	2,82*	5,64
Tiempo	0,012	0,005	0,71	-1,62	2,64*	9,42*
NaCl ²	0,009	0,033*	-3,44*	-0,67	-5,30*	-22,20*
TPFS ²	-0,075*	-0,067*	1,64	0,49	-1,10	-2,20
Presión ²	0,004	-0,002	-0,80	0,25	-1,72	-7,90
Tiempo ²	0,012	0,014	-2,87	1,88	-3,16	-9,65
NaCl x TPFS	0,000	-0,004	-5,78*	0,88	-0,64	-4,13
NaCl x Presión	0,006	0,008	2,94	-0,96	0,27	-1,70
NaCl x Tiempo	0,000	0,005	0,51	0,63	0,81	3,97
TPFS x Presión	-0,024	0,007	2,68	-0,93	-0,42	0,80
TPFS x Tiempo	-0,001	-0,001	1,62	-0,86	0,54	4,90
Presión x Tiempo	0,007	0,003	1,98	-2,05	2,39	4,48
R ²	0,992	0,984	0,963	0,850	0,829	0,827
p	≤0,05	≤0,05	≤0,05	≤0,05	≤0,05	≤0,05

NaCl: Concentración de cloruro de sodio; TPFS: Concentración de tripolifosfato de sodio (*) Nivel de significancia menor al 5% (p<0,05);

Pérdida de peso por cocción

Los coeficientes de regresión para la PPC obtenidos por análisis de regresión lineal múltiple, se presentan en la tabla 2. El modelo obtenido para la PPC fue significativo (p<0,05) y explicó el 96,3% de las respuestas observadas. La PPC disminuyó con el aumento de las concentraciones de NaCl y TPFS (Tabla 2, Figura 1-a). Además, la interacción NaClxTPFS fue significativa (p<0,05) con su coeficiente negativo. Por lo tanto, el incremento de ambos aditivos tuvo un efecto sinérgico sobre la disminución de la PPC. A su vez, el aumento de la presión incrementó este parámetro (Tabla 2; Figura 1-b), y si bien la interacción NaClxPresión no fue significativa (Tabla 2; p>0,05), el efecto de la presión fue más importante a altas concentraciones de NaCl (Figura 1-b). Un efecto similar se observó con el TPFS.

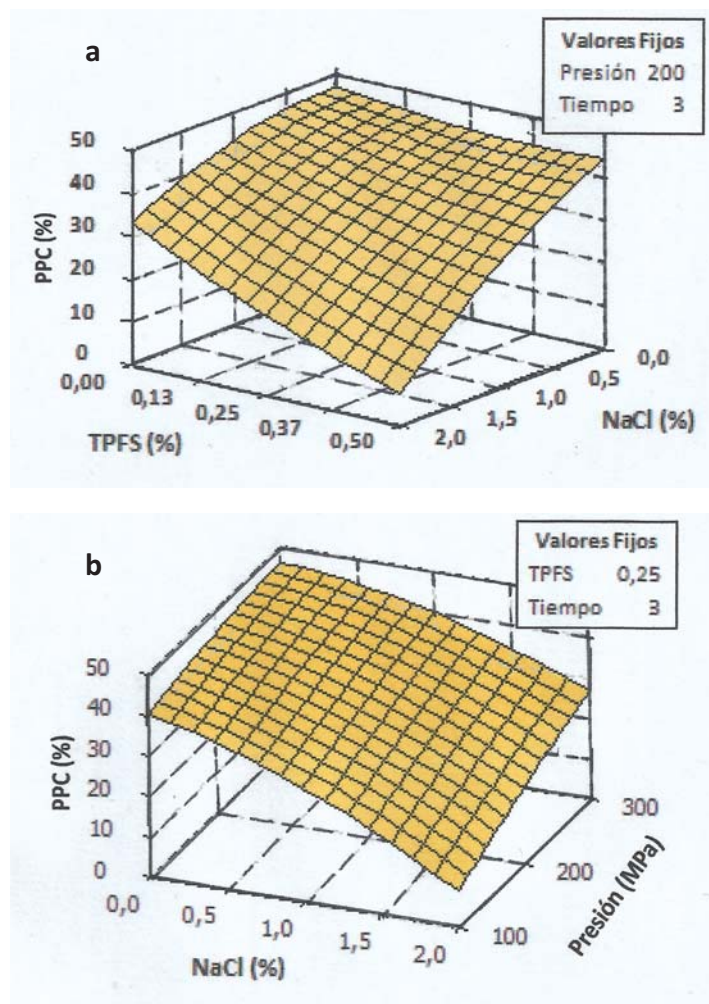
El efecto de la incorporación de NaCl y TPFS a productos cárnicos ha sido ampliamente estudiado, siendo generalmente aceptado que incrementan la capacidad de retención de agua de la carne (Huffman Et Cross, 1981). El NaCl induce el hinchamiento de los miofilamentos y favorece la extracción y solubilización de las proteínas miofibrilares, provocando un incremento en la hidratación y la capacidad de retención de agua del tejido cárnico. Los fosfatos mejoran la capacidad de retención de agua debido a que aumentan el pH y la fuerza iónica, lo que provoca el incremento de carga negativa en las proteínas, favoreciendo la unión de

mayor cantidad de moléculas de agua. Por otra parte, las APH causan la desnaturalización de las proteínas miofibrilares, produciendo incluso su agregación a las presiones más altas. Macfarlane *et al.* (1984) evaluaron la PPC de hamburguesas de carne tratadas con APH (50-150MPa - 20min). Estos autores observaron que el aumento de la concentración de NaCl del 1 al 3%, al aplicar una presión de 150 MPa, redujo la PPC. Además, el tratamiento con APH mejoró la efectividad del NaCl en disminución de la PPC. Sin embargo, estos autores no observaron este efecto cuando la concentración de NaCl fue inferior al 0,5% y, por el contrario, la PPC aumentó en relación al control sin presurizar. En el presente trabajo, el efecto de las APH sobre la PPC fue más importante a mayores concentraciones de sales. Esto se debería a que hubo una mayor solubilización y extracción de proteínas, y el efecto que causó la presión sobre éstas fue más significativo.

Humedad expresable

Los coeficientes de regresión para el parámetro HE, obtenidos por análisis de regresión lineal múltiple, se presentan en la tabla 2. El modelo obtenido fue significativo (p<0,05) y explicó el 85,0% de las respuestas observadas. Las concentraciones de NaCl y TPFS afectaron de manera lineal (positiva) este parámetro, mientras que la presión lo hizo de manera lineal negativa. Por lo tanto, con el incremento de las concentraciones de los

Figura 1 - Superficies de respuesta: efecto de los factores del diseño sobre la pérdida de peso por cocción (PPC) de hamburguesas de carne bovina tratadas con APH y luego cocidas. a) Concentración de cloruro de sodio (NaCl) y tripolifosfato de sodio (TPFS). b) Concentración de NaCl y nivel de presión.



aditivos, la HE aumentó y disminuyó con el aumento de la presión. El efecto de las concentraciones de NaCl y TPFS sobre el parámetro HE se relaciona con el efecto de esos factores sobre la PPC, discutido en párrafos precedentes. Jiménez-Colmero *et al.* (1997) sugirieron que la aplicación de altas presiones provoca la desnaturalización de las proteínas cárnicas, limitando su extracción y funcionalidad. Estas proteínas tienen propiedades de hidratación, debido a que la unión proteína-agua genera adhesión, absorción y retención de agua. En consecuencia, al estar desnaturalizadas, disminuyen su capacidad para retener agua, por lo que aumenta la PPC y disminuye la HE (Jiménez-Colmero *et al.*, 1997; Hong *et al.*, 2006; Desmond, 2006). Un efecto similar se estaría evidenciando en este estudio, en el cual la aplicación de los tratamientos con APH provocaría la desnaturalización de las proteínas cárnicas, afectando su funcionalidad,

y de esta manera aumentaría la pérdida de peso durante la cocción, reduciendo en consecuencia la humedad expresable de las hamburguesas cocidas.

Resistencia al corte y trabajo de corte

En la tabla 2 se presentan los coeficientes de regresión estimados para los parámetros de resistencia al corte y trabajo de corte. Tanto para la resistencia al corte como para el trabajo de corte, el modelo fue significativo ($p < 0,05$) y logró explicar el 82,9% y 82,7% de las respuestas observadas, respectivamente. El aumento en la concentración de TPFS disminuyó los valores de ambos parámetros (Tabla 2, Figura 2-a y 2-b). A su vez, la concentración de NaCl tuvo un efecto cuadrático negativo significativo (Tabla 2, $p < 0,05$) y no se observó efecto significativo de las interacciones de las concentraciones de ambas sales. El aumento del nivel de presión incrementó los valores de resistencia al corte (Figura 2-b), mientras que el aumento del tiempo de mantenimiento incrementó el trabajo (Figura 2-a) y la resistencia (Figura 2-c) al corte. Macfarlane *et al.* (1984) y Szman *et al.* (2011) sugirieron que el efecto de las altas presiones sobre la textura se debería a la modificación de la conformación de las proteínas miofibrilares, lo cual induciría un incremento en la unión de las partículas de carne. Este incremento de la fuerza de unión de las partículas sería provocado por el aumento de las interacciones proteína-proteína. Al aumentar la cantidad de interacciones, incrementaría la fuerza de unión, resultando en un aumento del valor de la resistencia al corte. Además,

Hong *et al.* (2006) y Macfarlane *et al.* (1984) observaron que la fuerza de unión entre las partículas de carne se incrementó cuando el nivel de presión y el tiempo de mantenimiento de la presión fueron aumentados.

Parámetros cromáticos

En la tabla 3 se presentan los coeficientes de regresión estimados para los parámetros cromáticos L^* , a^* y b^* , obtenidos por análisis de regresión lineal múltiple, correspondientes a hamburguesas tratadas con APH (crudas y cocidas). En el caso de hamburguesas tratadas con APH crudas, el modelo fue significativo ($p < 0,05$) y logró explicar el 92,9%, 95,0% y 88,3% de las respuestas observadas para los parámetros L^* , a^* y b^* , respectivamente. El incremento de la concentración de NaCl disminuyó los valores de L^* , a^* y b^* (tabla 3). El NaCl incrementa la unión del agua a las proteínas miofibrilares, disminuyendo el

parámetro L^* , y promueve la oxidación de la mioglobina (disminución del parámetro a^*). El aumento de la concentración de TPFS aumentó los valores de a^* , debido a su capacidad antioxidante (Sofos, 1989). El aumento del nivel de presión aumentó el valor de L^* . Este efecto se asocia a la desnaturalización de la mioglobina y/o a un desplazamiento del grupo hemo (Carlez *et al.*, 1995).

En hamburguesas cocidas, no se observaron diferencias significativas ($p>0,05$) para los parámetros L^* , a^* y b^* (tabla 3). Este resultado indica que aún cuando las hamburguesas tratadas con APH crudas presentaron diferencias en la luminosidad al aumentar la presión, luego de la cocción las muestras no presentaron diferencias en relación a ese parámetro cromático. Esto se debería al mayor efecto del tratamiento térmico respecto al tratamiento con APH sobre la desnaturalización de la mioglobina, probablemente debido a que el nivel de presión utilizado fue moderado (<300 MPa).

Conclusiones

La incorporación de cloruro de sodio y tripolifosfato de sodio en la formulación de las hamburguesas incrementó la capacidad de retención de agua y redujo las pérdidas de peso por cocción, observándose un efecto sinérgico de estos aditivos. Por otra parte, el aumento de la presión disminuyó la capacidad de retención de agua e incrementó la pérdida de peso por cocción, siendo este efecto más marcado en las hamburguesas formuladas con las mayores concentraciones de aditivos utilizadas en este estudio. Por lo tanto, en las condiciones estudiadas, no sería posible reducir la concentración de cloruro de sodio y de tripolifosfato de sodio en la formulación de hamburguesas sin afectar la capacidad de retención de agua y los parámetros relacionados con esta propiedad. No obstante, se obtuvo una mejora en las propiedades de textura ocasionada por una mayor unión de las partículas de carne. A su vez, se observó que el efecto de la cocción sobre los parámetros cromáticos de las hamburguesas permitió enmascarar el efecto causado sobre los mismos por el tratamiento con APH y la incorporación de las sales estudiadas.

Figura 2 - Superficies de respuesta: efecto de los factores del diseño sobre el trabajo de corte y resistencia al corte de hamburguesas de carne bovina tratadas con APH y luego cocidas. a) Concentración de tripolifosfato de sodio (TPFS) y tiempo de mantenimiento sobre el trabajo de corte. b) Concentración de TPFS y nivel de presión sobre la resistencia al corte. c) Tiempo de mantenimiento y nivel de presión sobre la resistencia al corte.

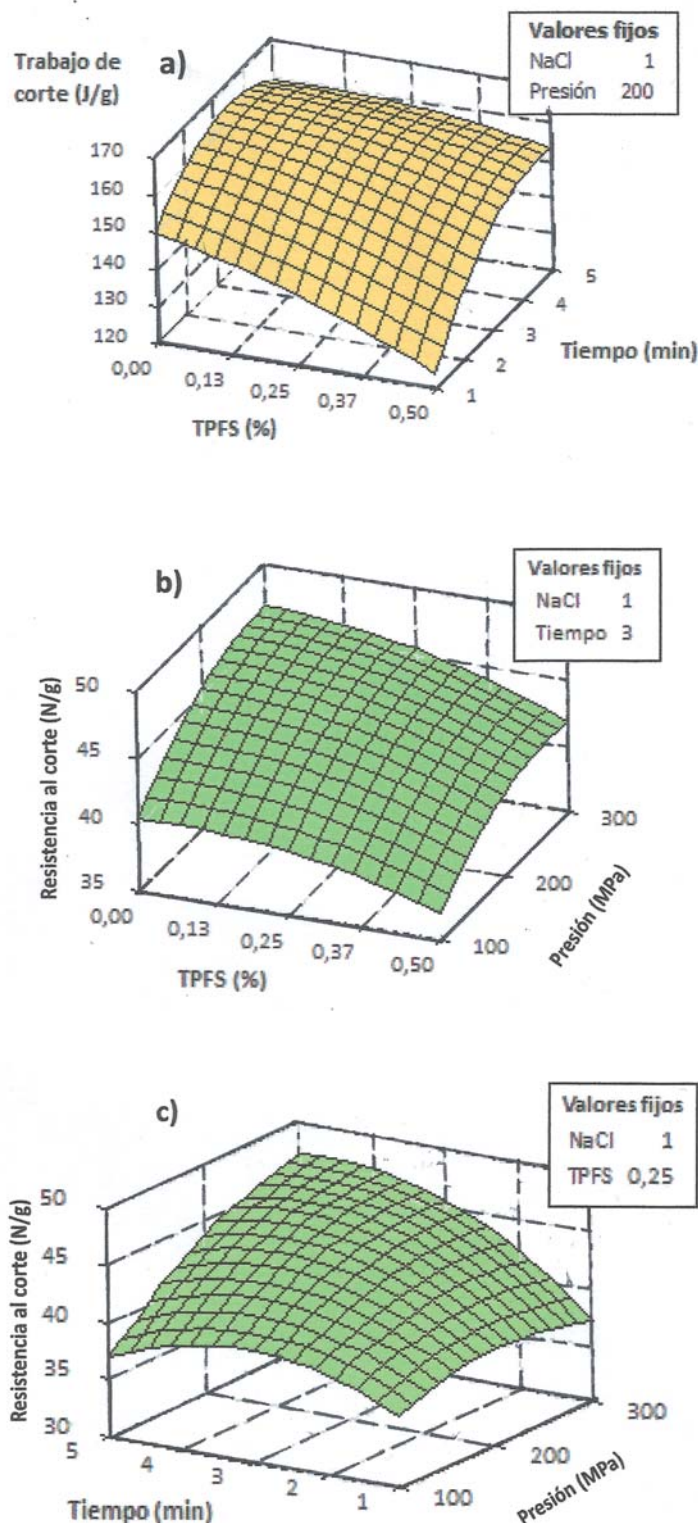


Tabla 3 - Coeficientes de regresión y análisis de varianza para los modelos de regresión correspondientes a parámetros cromáticos L*, a* y b* de hamburguesas de carne bovina tratadas con APH crudas y cocidas

Términos	Hamburguesas tratadas con APH crudas			Hamburguesas tratadas con APH cocidas		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
Constante	41,57	14,17	10,65	48,36	9,63	11,03
NaCl	-1,60*	-5,04*	-1,21*	-1,31	0,06	-1,46*
TPFS	-0,34	3,19*	0,34	0,24	0,09	-0,35
Presión	3,06*	-0,05	-0,41	-0,17	-0,32	-0,27
Tiempo	0,67	-0,27	-0,09	-0,45	0,09	-0,55
NaCl ²	1,43*	1,97*	1,23*	4,16*	-0,42	0,67
TPFS ²	0,63	1,69*	0,58	1,74	-0,03	0,19
Presión ²	1,51*	0,76	0,24	1,25	0,30	-0,23
Tiempo ²	0,27	0,56	0,51	1,01	0,05	-0,14
NaCl x TPFS	1,82*	-1,29	0,36	2,21	-0,53	0,18
NaCl x Presión	-0,58	0,08	-0,44	-0,94	0,34	-0,22
NaCl x Tiempo	0,21	0,12	0,05	-0,63	0,25	0,09
TPFS x Presión	-0,51	-2,20*	-0,80*	-0,51	0,04	-0,12
TPFS x Tiempo	-0,35	-0,32	-0,06	0,12	0,02	0,22
Presión x Tiempo	0,94	-0,40	-0,11	-0,40	-0,18	0,10
R ²	0,929	0,950	0,883	0,765	0,734	0,579
p	≤0,05	≤0,05	≤0,05	>0,05	>0,05	≤0,05

NaCl: Concentración de cloruro de sodio; TPFS: Concentración de tripolifosfato de sodio APH: altas presiones hidrostáticas
(*) Nivel de significancia menor al 5% ($p < 0,05$).

Bibliografía

Box, G., & Behnken, D., Some new three level designs for the study of quantitative variables, *Technometrics*, pág. 455-475, 1960.

Carlez, A., Veciana-Nogues, T., & Cheftel, J.C., Changes in Colour and Myoglobin of Minced Beef Meat Due to High Pressure Processing. *Lebensmittel Wissenschaft und-Technologie*, 28 (5), 528-538, 1995.

Chen, C.M. & Trout, G.R., Sensory, instrumental texture profile and cooking properties of restructured beef steaks made with various binders. *Journal of Food Science*, 56 (6), pág. 1457-1460, 1991.

Desmond, E., Reducing salt: A challenge for the meat industry, *Meat Science*, vol 74, pág. 188-196, 2006.

Fernández-Martín, F., Cofrades, S., Carballo, J., Jiménez-Colmenero, F., Salt and phosphate effects on the gelling process of pressure/heat treated pork batters, *Meat Science*, 61(1), pág. 15-23, 2002.

Hjelmqvist, J., Commercial High Pressure Equipment, In Barbosa-Cánovas, Cano M. P. (Eds), *Novel Food Processing Technologies*, pág. 361-373, CRC Press, 2005.

Hong, G.P., Park, S.H., Kim, J.Y., & Min, S.G., The Effects of High Pressure and Various Binders on the Physico-chemical Properties of Restructured Pork Meat, *Asian-Australian Journal of Animal Science*, vol 19, pág.1484-1489, 2006.

Huffman, D.L., Cross, H.R., Campbell, K.J., & Cordray, J.C., Effect of salt and tripolyphosphate on acceptability of flaked and formed hamburger patties, *Journal of Food Science*, vol 46, pág.34-36, 1981.

Jiménez Colmenero, F., Carballo, J., Fernández, P., Barreto, G., & Solas, M.T., High-pressure-induced changes in the characteristics of low-fat and high-fat sausages, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol 75, pág.61-66, 1997.

Macfarlane, J.J., McKenzie, I.J., Turner, R.H., & Jones, P.N., Binding of comminuted meat: Effect of high pressure, *Meat Science*, vol 10, pág.307-320, 1984.

McArdle, R. A., Marcos, B., Kerry, J. P., Mullen, A. M., Influence of HPP conditions on selected beef quality attributes and their stability during chilled storage, *Meat Science*, 87(3), pág. 274-281, 2011.

Ruusunen, M., & Puolanne, E., Reducing sodium content in meat products: The effect of the formulation in low-sodium ground meat patties, *Meat Science*, vol 69, pág.53-60, 2005.

Shahidi, F. & Synowiecki, J, Protein hydrolyzates from seal meat as phosphate alternatives in food processing applications, *Food Chemistry*, 60 (1), pág. 29-32, 1997.

Sofos, J. N., Phosphates in meat products Ed.), *Developments in food preservation*, Ed. S. B. Thornes, pág. 207-252, London: Elsevier, 1989.

Szerman, N., Guibaldo, C., Sanow, C., & Vaudagna, S.R., Efecto de la aplicación de altas presiones hidrostáticas sobre las propiedades fisicoquímicas de medallones de carne vacuna, *La industria cárnica latinoamericana*, vol 173, pág.42-49, 2011.

Trespalacios, P., & Pla, R., Synergistic action of transglutaminase and high pressure on chicken meat and egg gels in absence of phosphates, *Food Chemistry*, 104(4), pág.1718-1727, 2007.

Welti-Chanes, J., López-Malo, A., Palou, E., Bermúdez, D., Guerrero-Beltrán, J.A., & Barbosa-Cánovas, G.V., *Fundamentals and Applications of High Pressure Processing of Foods*, Ed. G.V. Barbosa-Cánovas & M.P.C. M.S. Tapia, *Novel Food Processing Technologies*, pág.157-182, 2005.